

アスファルトの劣化因子および劣化予測に関する検討

川島陽子・新田弘之・加納陽輔

1. はじめに

舗装に使われるアスファルトは、アスファルト混合物の製造から施工までの間に100℃以上の高温下におかれるため、短期的な熱劣化が生じ、その後、供用下において長期的に熱や紫外線、空気の影響により緩やかに劣化が進行する。この供用中の劣化は、空気や紫外線の作用が異なる表面や内部、舗装の損傷程度によって差異が見られる¹⁾。劣化の進行は、舗装表面が比較的早い²⁾が、舗装内部においては深さ方向に劣化度合いが異なり、アスファルト混合物層の下面から劣化が進行している例も報告されている^{2),3)}。また、実舗装の調査から、亀甲状クラックが集中している箇所の方がそうでない箇所と比べて劣化が進行していたという報告⁴⁾もある。アスファルト混合物の内部は空気が通りにくいものであるが、表面はもとより、下面やクラック部等、空気と触れやすい場所は劣化が進行しやすくなるためと考えられる。アスファルトの劣化は、進行すると舗装の破損につながるため、空隙やクラックの程度と劣化進行の予測との関係が明確になれば、舗装の設計や計画的な維持管理につながるものと考えられる。

土木研究所先端材料資源研究グループでは、日本大学生産工学部と共同研究「アスファルトの劣化・再生メカニズムに関する研究」(R2-R3)を実施し、アスファルトの劣化因子とその影響に関する検証や劣化したアスファルトとこれを再生するために加える再生用添加剤との混合性の検証を行った。本稿では、劣化因子として熱や酸素濃度(空気)の影響について実験的検証を行い、その結果に基づいた劣化予測について検討した内容を報告する。

2. 劣化に対する温度や酸素濃度の影響

2.1 概要

これまでの研究より、舗装内部において深さ方向で劣化度合いが異なることが分かっている³⁾。

この要因の一つとして、深さ方向で熱による温度分布が異なることが挙げられる。また、アスファルトの劣化は酸化反応であることから、舗装表面と内部で空気の通りやすさや接触面積が異なることもその要因であると考えられる。そこで、アスファルトの劣化に対する温度や酸素濃度の影響について検討した。

2.2 試験概要

2.2.1 試験手順

劣化に対する温度や酸素濃度の影響を調べるために、室内で養生温度や酸素濃度を変えてアスファルト混合物の促進劣化試験を行った。試験条件を表-1に示す。

2.2.2 性状試験

促進劣化後のアスファルト混合物から、抽出回収したアスファルトに対して、表-2に示す性状試験を実施した。赤外分光分析から得られた赤外スペクトルより、酸化劣化により増加するカルボニ基1700cm⁻¹近傍のピーク値を、劣化前後で増減がない1600cm⁻¹近傍のピーク値で除したカルボニルインデックス(以下「CI」とする。)を算出して、酸化劣化を評価した。

2.3 試験結果

2.3.1 温度の影響

所定の温度下で養生したアスファルト混合物から抽出回収したアスファルトの針入度およびCIの

表-1 試験条件

項目	種別	内容
供試体 条件	混合物の種類	密粒度(13)
	混合物の状態	4.75mmふるい残留分を締め固めない状態で使用
促進劣化 条件	養生温度	70℃,90℃,110℃
	酸素濃度	5%,15%,20%(調整なし)
	養生日数	最長70日間

表-2 性状試験

試験項目	条件
針入度	舗装調査・試験法便覧A041による
赤外分光分析	フーリエ変換赤外分光分析、ATR法(ダイヤモンドプリズム)使用

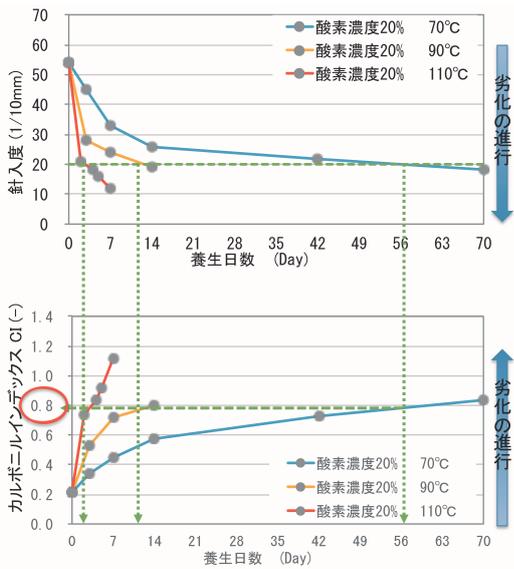


図-1 針入度およびCIの変化

変化を図-1に示す。ここでは、アスファルトの再生利用時における、骨材中の劣化アスファルトの品質の目安である針入度20の値に着目した。養生温度が高いほど、針入度の低下が早く、また、CIの増加が早くなった。養生温度によって、針入度が20に低下するまでの時間は異なっているが、針入度が20におけるCIはほぼ0.8であり、養生温度によらず同程度となった。

2.3.2 酸素濃度の影響

酸素濃度を変化させて促進劣化させた時のアスファルトの針入度およびCIについて、養生温度90°Cの結果を図-2、養生温度110°Cの結果を図-3に示す。いずれの温度でも、酸素濃度が低くなると、針入度20まで劣化するのに要する日数が長くなる傾向が見られた。CIも酸素濃度が低くなると上昇する速度が遅くなり、劣化に要する日数が長くなる傾向を示したものの、酸素濃度が異なると、同じ針入度でもCIが異なる結果となった。これは、酸素濃度が高いと針入度を下げる成分が増加しやすいためではないかと考えられた。今後、劣化の質の違いについて成分の生成に関する分析なども行いながら、詳細について解明したい。

3. 劣化に対する空隙率の影響

3.1 概要

前節2.3より、アスファルトの劣化速度に対して、熱や酸素濃度が影響することがわかった。一方、アスファルト混合物は、わずかな空隙を有してお

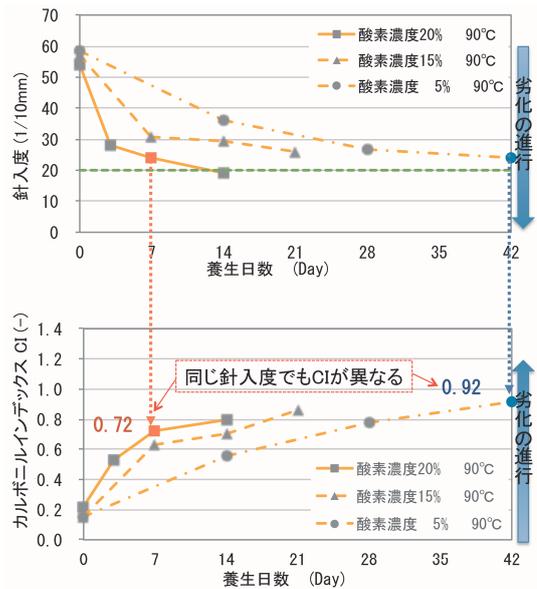


図-2 酸素濃度による針入度およびCIの変化 (90°C)

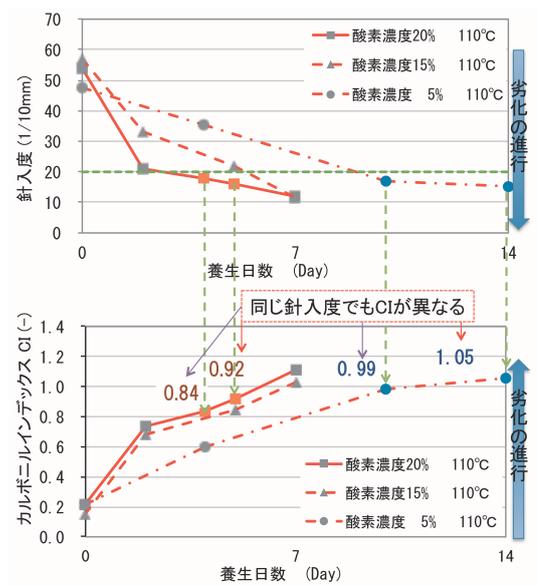


図-3 酸素濃度による針入度およびCIの変化 (110°C)

り、混合物の種類や施工により空隙が異なる。空隙率により、熱や空気の通りやすさは異なるものと考えられたため、空隙率による劣化への影響を検討した。

3.2 試験条件

3.2.1 アスファルト混合物供試体の作製

アスファルト混合物の供試体は300×300×50mmのサイズで締め固めたものとし、空隙率はおおよそ3~6%の範囲で調整した。表-3に促進劣化の試験条件を示す。空隙率がおおよそ3%台の条件を”空隙率小”、空隙率が4%台のものを”空隙率中”、空隙率が5%台のものを”空隙率大”とした。

3.2.2 促進劣化方法

作製した供試体は、乾燥炉内にて110℃下で養生し、促進劣化させた。その際、熱および自重で供試体が崩れるのを防ぐために、供試体の側面をアルミニウム板で固定した。また、下面からも空気が供給されるように、パンチングメタルを敷いた上で養生した。

3.2.3 酸化劣化の評価

劣化の評価を行うにあたり、側面からの劣化の影響を排除するために、図-4に示すように、供試体の中央部分からφ100mmのコアを切り出した。このコアを深さ方向で10mmずつに分割し、深さ方向の劣化度合いを調べた。既往研究⁹⁾の方法により、アスファルト混合物に被膜しているアスファルトを簡易的に抽出し、赤外分光分析を行ってCIを評価した。

3.3 試験結果

深さ方向の劣化について空隙率の異なる供試体のCIの変化を図-5に示す。初期の未劣化のときは、表面から底面までCIに大きな違いはないが、促進劣化3日後には、内部と比較して表面や底面でCIが増加し、やや劣化が進行することを確認した。促進劣化7日後では、表面や底面の劣化がさらに進み、深さ方向でのCIの変化が見られた。また、空隙率による違いもわずかながら見られるようになった。促進劣化14日後において、特に空隙率小の供試体で深さ方向での劣化度合いの違いが顕著となった。一方、空隙率中や空隙率大の供試体では、深さ方向の変化はあるものの、空隙率小の供試体と比較するとわずかなものであった。

以上より、空隙率が大きいと空気がアスファルト混合物内部まで侵入しやすく内部まで劣化し、空隙率が小さいと混合物内部の劣化は進みにくいことが示された。

4. アレニウスによるアスファルトの劣化予測

4.1 アレニウス法による寿命予測

アレニウス法とは、高分子材料の寿命予測として用いられる手法の1つで、化学反応の速度定数の温度変化に関する式であるアレニウスの式に基づく方法である。実験的には、実際の使用温度より高めのいくつかの温度において促進劣化試験を行い、それぞれの温度における寿命を調べ、絶対温度の逆数と寿命との相関から、実際の使用

表-3 促進劣化試験の条件

項目	種別	内容
供試体条件	混合物種	密粒度(13)
	空隙率	大(平均5.6%)
		中(平均4.5%) 小(平均3.3%)
促進劣化条件	養生温度	110℃
	養生日数	0,3,7,14日

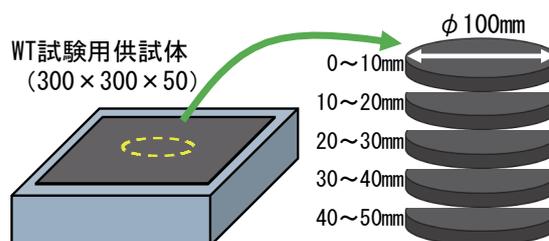


図-4 促進劣化方法とサンプリング概要

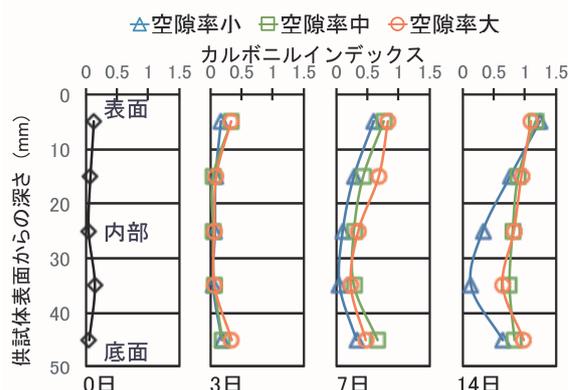


図-5 カルボニルインデックスの変化

温度における材料の寿命を予測するものである。

4.2 アレニウスプロット

図-1から図-3で示した結果を用いて、それぞれの養生温度における、針入度20まで劣化するのに要した時間を元に、それぞれの酸素濃度でのアレニウスプロットを作成した。結果を図-6に示す。酸素濃度が低くなるほど、アスファルトの劣化速度が遅くなるため、寿命が長くなることが示唆された。このことから、実舗装で考えた場合に、ひび割れ等が発生した非健全部において、できるだけ早くクラックを補修して、酸素の供給を断つことで寿命を長くすることができると考えられる。

図-6に示した酸素濃度20%の結果について、温度と針入度が20に達するまでの時間の関係を図-7にプロットした。例えば、温度25℃一定で実験し

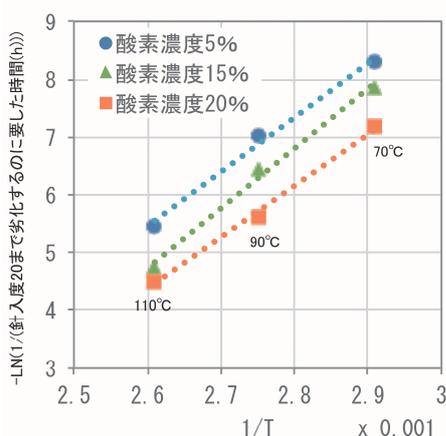


図-6 アレニウスプロット

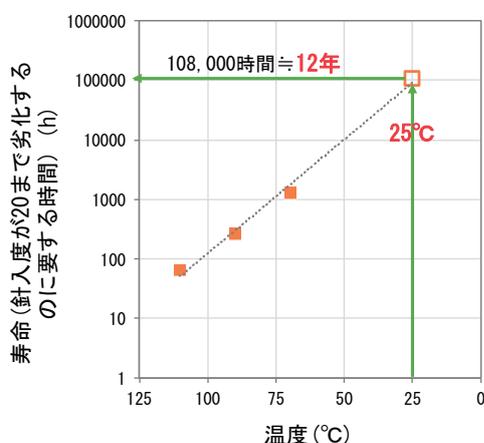


図-7 劣化予測

た場合、アスファルトの針入度が20に達するまでの時間はおよそ12年程度と試算される。

実舗装の場合では、紫外線の照射、通年で温度変化、舗装内部の熱の蓄積量の違い、舗装表面と内部で空気分布が様々ではない等、様々なことが影響する。そのため、単純にはアスファルトの寿命を計算することはできないが、一つ一つの要因と影響度合いを明らかにすることで、将来的には、より精度の高い劣化予測ができるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、アスファルト混合物の劣化因子の影響を検討するため、様々な劣化因子をパラメータとした促進劣化試験を行い、劣化の評価を行った。その結果、熱だけでなく、酸素濃度や空隙率によって、アスファルトの劣化速度が異なることを明らかにした。得られた結果に基づき、アレニウスプロットによる劣化予測を行い、酸素濃度の違いにより、アスファルトが針入度20まで達するのにどの程度差があるか試算した。このことから、酸素濃度が低くなる健全部の舗装内部では、もっと寿命が長くなる可能性が考えられた。

本稿では、主にアスファルトだけの性状に着目したが、アスファルト混合物の性状への影響についても検討しており⁶⁾、今後も引き続きアスファルトの劣化要因とその影響について研究していく所存である。

参考文献

- 1) 笠原靖、植村正、牛島幸司郎：供用中に終えるアスファルト舗装の老化の研究-アスファルトの劣化に及ぼす路面からの深さの影響、石油学会誌、第18巻、1975
- 2) 平戸利明、村山雅人、高橋茂樹、姫野賢治：長期供用された高速道路で用いたアスファルトの起床劣化現象に関する調査結果、土木学会論文集E1(舗装工学論文集)、第70巻、2014
- 3) 川島陽子、新田弘之、佐々木徹、西崎到：再生方法の異なる再生アスファルト混合物の深さ方向における化学性状の変化、土木学会論文集E1(舗装工学論文集)、第73巻、2016
- 4) 石原佳樹、東拓生、久保和幸：直轄国道における舗装の破損実態調査と早期劣化区間の解消、土木技術資料、第58巻、第8号、pp.8~11、2016
- 5) 川島陽子、新田弘之：赤外分光分析によるポリマー改質アスファルトの検出手法の検討、第73回土木学会学術年次講演会、2021
- 6) 陳安寧、加納陽輔、新田弘之、川島陽子：アスファルト舗装の材料劣化と構造劣化の相互作用に関する基礎検討、日本道路会議、2021

川島陽子



土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ主任研究員、博士(農学)
Dr. KAWASHIMA Yoko

新田弘之



土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ長、博士(工学)
Dr. NITTA Hiroyuki

加納陽輔



日本大学生産工学部土木工学科准教授、博士(工学)
Dr. KANOU Yousuke